

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2012.04.008

## 精养虾池主要生态因子变化特点与相关性分析

陈金玲, 赖秋明, 苏树叶, 柯杨勇

(海南大学海洋学院, 海南海口 570228)

**摘要:** 2011年4月至7月, 对海南省儋州市排浦对虾养殖场3口凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)精养池塘水体中的叶绿素a (Chl-a)、浮游动物、异养细菌、弧菌、活性磷( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )等16项环境因子进行全程定期测定, 分析养殖过程中主要生态因子的变化特点及其相互关系。结果显示, 养殖过程中水体的溶解氧(DO)、pH和透明度呈现缓慢下降的趋势, 悬浮物(TSS)、化学耗氧量(COD)、亚硝酸盐氮( $\text{NO}_2^- \text{-N}$ )、氨氮( $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ )、浮游动物、异养细菌和弧菌则呈现出逐渐增加的趋势。 $\rho$ (Chl-a)的变化特征表现为养殖前期低, 中后期逐渐升高; Chl-a与硝酸盐氮( $\text{NO}_3^- \text{-N}$ )呈极显著的正相关, 与 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 呈负相关。桡足类密度与TSS呈极显著的正相关, 与异养细菌、弧菌、轮虫密度呈显著正相关, 与Chl-a、COD呈正相关, 但不显著。异养细菌与COD呈极显著的正相关, 与TSS呈显著的正相关, 与透明度呈显著的负相关; 弧菌与TSS呈极显著的正相关, 与COD呈显著的正相关, 与pH、DO呈显著的负相关。

**关键词:** 凡纳滨对虾; 叶绿素a; 浮游动物; 细菌; 水质; 相关性

中图分类号: S 967.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2012)04-0049-08

## Study on variation characteristics and correlation analysis of major ecological factors in intensive shrimp ponds

CHEN Jinling, LAI Qiuming, SU Shuye, KE Yangyong

(Ocean College of Hainan University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** To study the variation characteristics and correlation of major ecological factors in intensive shrimp farming ponds, we measured 16 aquatic ecological factors including the concentration of chlorophyll a (Chl-a) as well as the density of zooplankton, heterotrophic bacteria and vibrio, active phosphorus( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ), etc. in 3 farming ponds of *Litopenaeus vannamei* in Paipu, Danzhou, from April to July in 2011. The results show that the values of DO, pH and transparency decreased slowly, and the total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), nitrite nitrogen( $\text{NO}_2^- \text{-N}$ ), ammonia nitrogen( $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ) as well as the density of zooplankton, heterotrophic bacteria and vibrio slowly increased during the culture period. The concentration of Chl-a was low in the earlier stage but increased gradually in the mid and latter stages; Chl-a had a very significant positive correlation with  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  and a negative correlation with  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ . The density of Copepod had a very significantly positive correlation with TSS and a significantly positive correlation with the density of heterotrophic bacteria, vibrio and rotifer, but had no significant correlation with Chl-a and COD. The density of heterotrophic bacteria had a very significant positive correlation with COD and TSS, but had a significantly negative correlation with transparency. The density of vibrio was very significantly correlated with TSS and COD, but had a significantly negative correlation with pH and DO.

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; chlorophyll a; zooplankton; bacteria; water quality; correlation

收稿日期: 2011-10-09; 修回日期: 2012-04-23

资助项目: 美国 ACRSP 项目(09BMA04UM); 海南大学 211 工程创新人才计划项目

作者简介: 陈金玲(1986-), 女, 硕士, 从事池塘养殖生态学研究。E-mail: jinlingcheng@163.com

通讯作者: 赖秋明, E-mail: Lqming815@163.com

随着高密度、集约化对虾养殖模式不断发展, 中国对虾养殖产量和经济效益都有明显的提升。据统计, 2010年中国对虾养殖产量为  $134.8 \times 10^4$  t, 居世界首位<sup>[1]</sup>。池塘精养是目前中国南方沿海地区凡纳滨对虾养殖的主要模式, 随着养殖规模的扩大和养殖密度的提高, 对虾养殖生产面临着许多严峻的问题, 如池塘水质恶化、发病时间提前、发病范围广、排塘率高以及沿岸海域富营养化不断加剧等<sup>[2]</sup>。这些问题的产生与虾池的生态环境有着密切的关系。

精养虾池生态环境是人工调控和自然生态调控的共同结果, 对虾的生长受各种生态因子的影响, 而虾池生物因子和理化因子之间存在着相互影响、相互制约的关系。因此, 研究虾池生物因子和理化因子的变化特点及其相互间的关系对池塘环境的调控具有重要的指导意义。关于虾池理化因子的变化及其对养殖影响的研究已有相关报道, 如申玉春等<sup>[3]</sup>、李奕雯等<sup>[4]</sup>; 关于虾池内浮游生物和微生态环境变化的研究也有较多报道<sup>[5-9]</sup>。而关于精养虾池中生物因子的变化特点及其与主要水质因子的相关性研究则较少见。该研究通过定期监测凡纳滨对虾精养池塘生物因子和理化因子的变化情况, 分析它们之间的相互关系, 旨在为对虾养殖生产的环境调控提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验虾池

2011年4月至7月, 在海南省儋州市排浦镇一对对虾养殖场选择3口精养池塘, 分别编为1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>和3<sup>#</sup>池, 在对虾养殖的过程中对池塘主要生态因子进行定期测定和分析。虾池面积均为  $0.17 \text{ hm}^2$ , 四边及底部铺设黑色地胶膜, 放养虾苗为美国进口亲虾繁育的SPF凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) 虾苗, 放苗密度为  $200 \times 10^4$  尾· $\text{hm}^{-2}$ , 养殖用水为经沙滤的天然海水, 虾池水深为  $1.2 \sim 1.5 \text{ m}$ , 池水盐度为  $13.7 \sim 26.4$ 。每口池塘设置4台功率  $1.5 \text{ kW}$  的水车式增氧机, 养殖全程除投喂人工配合饲料的时间外均正常使用。养殖期间每隔15 d施用一次“利生素”芽孢杆菌制剂, 根据需要投放适量沸石粉等改善水质。养殖前期只进水, 养殖中期和后期视水质情况进行适量换水。

### 1.2 水样的采集与处理

养殖期间每2周采样1次, 采样时间为早上

9:00~10:00, 用2 L柱状有机玻璃采水器采集上层(离水面30 cm处)和下层(离池底30 cm处)水样, 分别注入到1 L的聚乙烯塑料瓶中, 以测定各项理化因子; 另用500 mL的聚乙烯瓶分别装取上层和下层水样, 用以分析测定Chl-a、异养细菌和弧菌密度; 浮游动物计数的水样是通过采水器各采集上层和下层水样2 L, 倒入10 L的塑料水桶中混合搅拌均匀后, 定容到1 L的聚乙烯瓶中, 并加入5 mL的鲁哥氏液进行现场固定。水样瓶放入冰盒低温保存带回实验室进行检测。在养殖现场使用HI9828型多功能水质测定仪测定溶解氧(DO)、pH、盐度和水温, 用透明度盘测定透明度。

### 1.3 各项指标的测定方法

硝酸盐氮( $\text{NO}_3^-$ -N)、亚硝酸盐氮( $\text{NO}_2^-$ -N)、氨氮( $\text{NH}_4^+$ -N)和活性磷( $\text{PO}_4^{3-}$ -P)的质量浓度均参照《海水调查规范》(GB/T 12763.4-2007)进行测定, 化学耗氧量(COD)的质量浓度采用碱性高锰酸钾法测定, 悬浮物(TSS)的质量浓度用重量法测定, 叶绿素a(Chl-a)的质量浓度采用二甲亚砷-丙酮萃取分光光度法测定。

异养细菌和弧菌分别采用2216E和TCBS培养基平板进行稀释涂布, 然后放入生化培养箱培养。弧菌在28℃培养24 h后计数菌落数量, 异养细菌在30℃培养48 h后计数菌落数量; 浮游动物水样倒入1 000 mL的分液漏斗中沉淀24 h, 用虹吸法吸去上清液将水样浓缩至50 mL, 装入100 mL的磨砂口玻璃瓶中, 经充分摇匀后吸取水样注入容积为1.0 mL的浮游动物定量计数框, 在光学显微镜下计数。

### 1.4 数据的处理

用Excel 2003分别计算虾池上层水样和下层水样各项指标的平均值, 作图分析其变化趋势, 并用SPSS 13.0分析数据的相关性。

## 2 结果与分析

### 2.1 虾池生物因子的变化

2.1.1 Chl-a 养殖期间虾池水体中 $\rho(\text{Chl-a})$ 的变化范围为  $42.06 \sim 470.91 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 平均为  $173.79 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。养殖前期 $\rho(\text{Chl-a})$ 随着养殖时间的增加呈平缓上升的趋势, 至养殖中期急剧上升, 而养殖后期 $\rho(\text{Chl-a})$ 呈下降趋势, 但仍高于养殖前期(图1-a)。

2.1.2 浮游动物数量 整个养殖期间轮虫和桡

足类都是虾池中浮游动物的主要类群，虽然在计数过程中发现个别原生动动物，但数量极少，故未将其计入浮游动物总数。轮虫密度波动范围为0~7 050个·L<sup>-1</sup>，平均为1 050个·L<sup>-1</sup>。3口虾池轮虫密度的变化趋势基本一致，放苗初期轮虫密度较高；养殖第10天至第24天轮虫的密度呈现较大的下降趋势；养殖中期轮虫密度一直维持在较低的水平；但到养殖后期其数量骤然上升，远高于养殖前期(图1-b)。桡足类密度的波动范围为0~340个·L<sup>-1</sup>，平均为77个·L<sup>-1</sup>。3口虾池桡足类的密度总体上表现为养殖生产前、中期密度较低且变化不大，后期其密度大幅增加且有较大的波动(图1-c)。

2.1.3 异养细菌和弧菌密度 养殖期间3口虾池的异养细菌密度变化范围为6.00×10<sup>3</sup>~2.13×10<sup>5</sup>cfu·mL<sup>-1</sup>，平均为6.20×10<sup>4</sup>cfu·mL<sup>-1</sup>(图1-d)。3口虾池中异养细菌密度的变化趋势基本一

致，养殖前期密度较低，随着养殖时间的延长，水体中异养细菌的密度随之增大。养殖第36天1<sup>#</sup>和2<sup>#</sup>池因使用含氯消毒剂进行水体消毒，异养细菌密度均出现大幅的下降。3口虾池水中的弧菌密度较为接近，变化范围为1.5×10<sup>2</sup>~3.09×10<sup>3</sup>cfu·mL<sup>-1</sup>，平均为1.28×10<sup>3</sup>cfu·mL<sup>-1</sup>，并呈现基本一致的变化趋势。水中弧菌的密度在放苗后有所下降，养殖前期密度较低且变化幅度较小；养殖中期其密度持续快速上升；到养殖后期其密度达到峰值并趋于稳定(图1-e)。

## 2.2 虾池主要理化因子的变化

2.2.1 pH 3口虾池的pH较为接近，变化范围为7.66~9.09，平均为8.31，呈现出比较一致的变化规律。虾苗放养后的前10d，池水的pH普遍较高，可上升至9.00，此后随着养殖时间的推延呈现逐渐下降的趋势，到养殖后期达到最低值

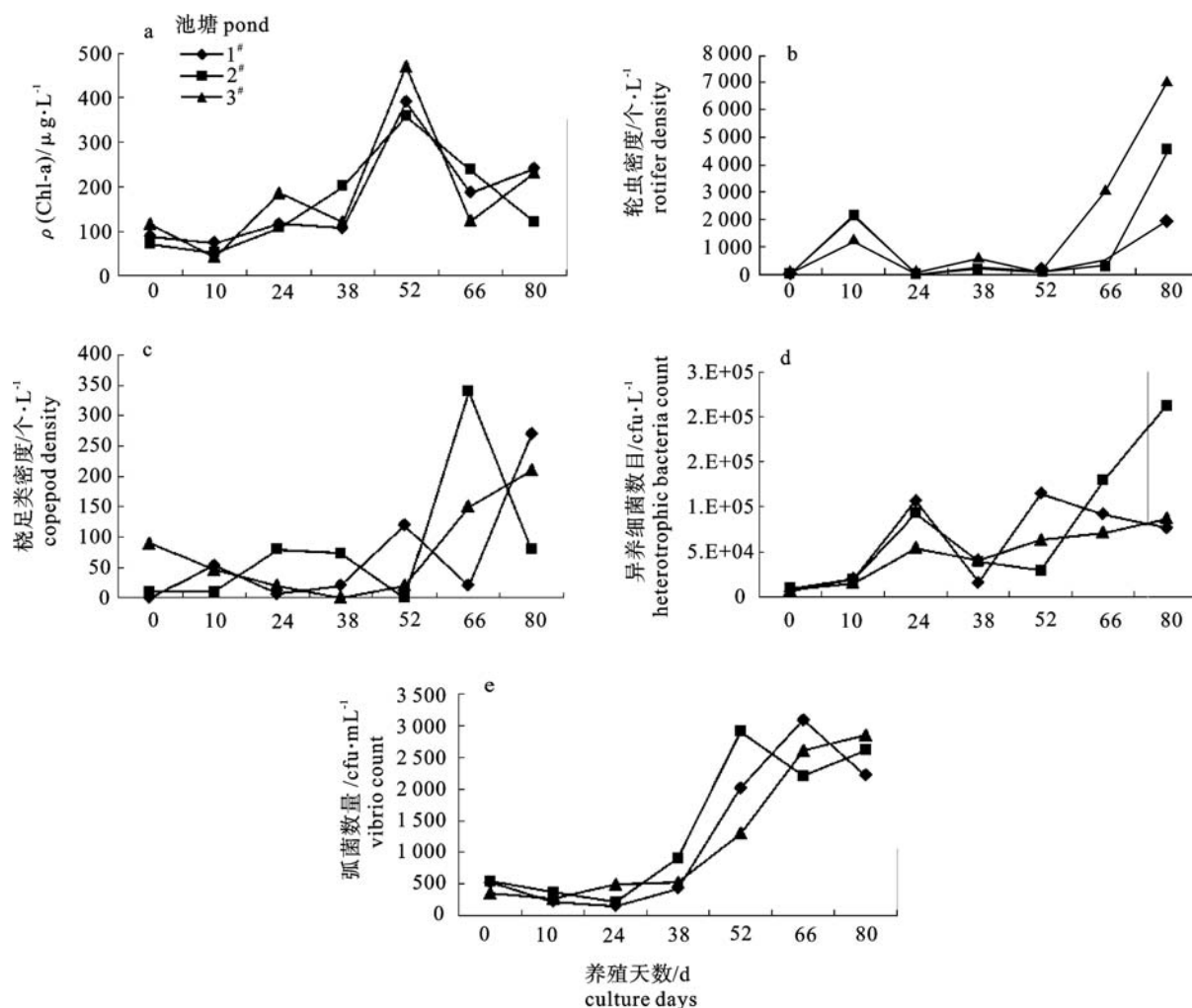


图1 虾池水体中ρ(Chl-a) (a)、轮虫密度(b)、桡足类密度(c)、异养细菌数目(d)和弧菌数量(e)的变化

Fig. 1 Variations of ρ(Chl-a) (a), rotifer density (b), copepod density (c), heterotrophic bacteria count (d) and vibrio count (e) in the shrimp ponds

(图2-a)。

2.2.2 DO  $\rho(\text{DO})$ 是日间用仪器现场测定的,受藻类光合作用的影响,测出的值相对较高,变化范围为 $5.80 \sim 10.62 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,平均为 $8.56 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。3口池水中的 $\rho(\text{DO})$ 均呈现出养殖前期较高

而养殖中、后期较低的变化趋势(图2-b)。

2.2.3 COD 3口虾池的 $\rho(\text{COD})$ 较接近,变动范围为 $4.87 \sim 9.73 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,平均为 $7.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。整个养殖过程中 $\rho(\text{COD})$ 随着养殖时间的延长而逐渐升高,在对虾收获之前达到最高值(图2-c)。

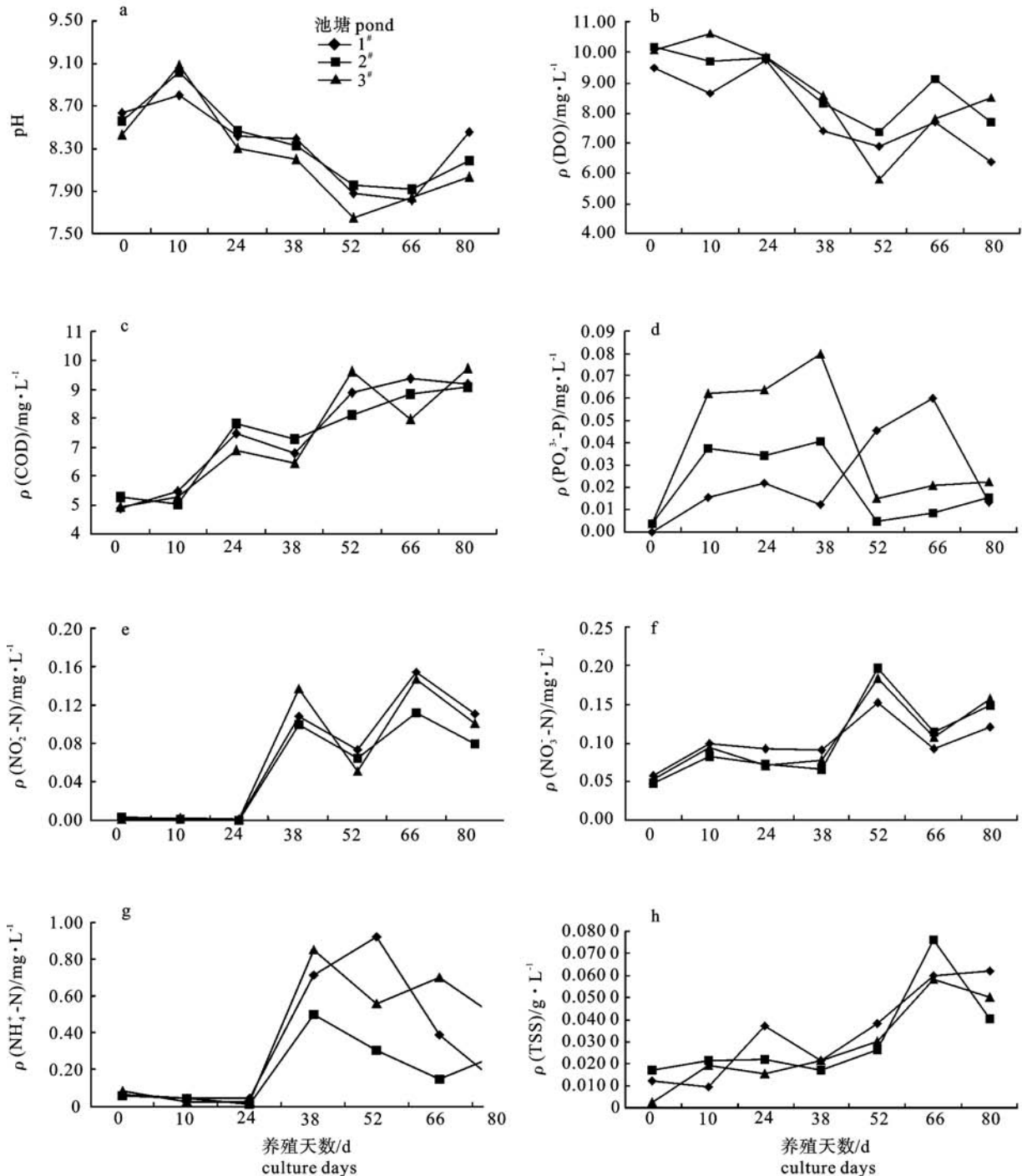


图2 虾池水体中pH(a)、 $\rho(\text{DO})$ (b)、 $\rho(\text{COD})$ (c)、 $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$ (d)、 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ (e)、 $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$ (f)、 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$ (g)和 $\rho(\text{TSS})$ (h)的变化

Fig.2 Variations of pH (a),  $\rho(\text{DO})$  (b),  $\rho(\text{COD})$  (c),  $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$  (d),  $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$  (e),  $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$  (f),  $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$  (g) and  $\rho(\text{TSS})$  (h) in the shrimp ponds

2.2.4 营养盐  $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$  的变化范围为 0 ~ 0.0798  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 3 口虾池  $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$  的差异较大, 且无明显的变化规律(图 2 - d)。3 口虾池的  $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 、 $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$  和  $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$  的变化范围分别为 0.000 3 ~ 0.155 2  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、0.048 1 ~ 0.197 0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和 0.012 5 ~ 0.923 1  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 三者表现出相似的变化规律, 即养殖前期的质量浓度很低, 到养殖中期均迅速升高, 到后期则随着换水量的加大而有所下降(图 2 - e ~ g)。

2.2.5 TSS 3 口虾池水体中的  $\rho(\text{TSS})$  较为接近, 波动范围为 0.002 0 ~ 0.076 0  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均为 0.031 1  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。养殖前期各虾池  $\rho(\text{TSS})$  较低且变化较平缓, 但随着养殖时间的推移,  $\rho(\text{TSS})$  呈现出逐渐增加的趋势(图 2 - h)。

2.3 虾池主要生态因子的相关性分析

相关性分析表明, 精养虾池水体的  $\rho(\text{Chl-a})$  与  $\rho(\text{NO}_3^-\text{-N})$  呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与 pH、 $\rho(\text{DO})$  呈显著负相关( $P < 0.05$ ), 与  $\rho(\text{PO}_4^{3-}\text{-P})$  呈负相关, 与  $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{NO}_2^-\text{-N})$ 、 $\rho(\text{NH}_4^+\text{-N})$  呈

正相关, 但相关性不显著。

精养虾池异养细菌密度与  $\rho(\text{COD})$  呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与  $\rho(\text{TSS})$  呈显著正相关( $P < 0.05$ ), 与透明度呈显著负相关( $P < 0.05$ ); 弧菌密度与  $\rho(\text{TSS})$  呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与  $\rho(\text{COD})$  呈显著正相关( $P < 0.05$ ), 与  $\rho(\text{DO})$ 、pH 值呈显著负相关( $P < 0.01$ )。

精养虾池水体的轮虫密度与其他环境因子均无显著的相关性; 桡足类密度与异养细菌密度、弧菌密度呈显著正相关( $P < 0.05$ ), 和 TSS 呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。

2.4 对虾养殖生产结果

3 口虾池养殖时间为 80 ~ 85 d, 单位面积产量分别为 15 003  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、14 509  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  和 15 247  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 平均单产为 14 920  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 平均成活率为 52.1%, 平均规格达 14.4  $\text{g}\cdot\text{尾}^{-1}$ , 平均饲料系数为 1.56。整个养殖期间对虾生长良好, 未发生病毒性和细菌性疾病。根据对虾生长情况和养殖结果, 这 3 口池塘的对虾生长速度和单位面积产量

表 1 水环境因子间线性相关矩阵

Tab. 1 Linear correlation matrix of aquatic ecological factors

	pH	透明度 transparency	DO	TSS	COD	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	DIN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Chl-a	x1	x2	x3	x4
pH	1														
透明度 transparency	0.830 *	1													
溶解氧 DO	0.767 *	0.600	1												
悬浮物 TSS	-0.689 *	-0.590	-0.537	1											
化学耗氧量 COD	-0.834 *	-0.877 **	-0.803 *	0.827 *	1										
亚硝酸盐氮 NO <sub>2</sub> -N	-0.700	-0.458	-0.707	0.741	0.671	1									
硝酸盐氮 NO <sub>3</sub> -N	-0.534	-0.407	-0.707	0.065	0.453	0.067	1								
氨氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	-0.683	-0.415	-0.822 *	0.295	0.510	0.782 *	0.482	1							
无机氮 DIN	-0.738	-0.477	-0.883 **	0.423	0.617	0.839 *	0.497	0.988 **	1						
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0.139	0.015	0.059	-0.023	0.006	0.142	-0.167	0.194	0.164	1					
叶绿素 Chl-a	-0.804 *	-0.694	-0.855 *	0.360	0.727	0.361	0.922 **	0.629	0.671	-0.177	1				
x1	-0.618	-0.812 *	-0.516	0.847 *	0.913 **	0.503	0.152	0.156	0.283	0.011	0.440	1			
x2	-0.784 *	-0.602	-0.778 *	0.898 **	0.864 *	0.734	0.384	0.463	0.585	-0.297	0.627	0.761 *	1		
x3	-0.054	-0.181	-0.336	0.577	0.487	0.381	-0.162	-0.040	0.081	-0.204	-0.007	0.635	0.588	1	
x4	-0.470	-0.425	-0.429	0.920 **	0.701	0.653	-0.115	0.122	0.259	-0.222	0.163	0.799 *	0.854 *	0.817 *	1

注: x1、x2、x3 和 x4 分别表示异养细菌密度、弧菌密度、轮虫密度和桡足类密度; \*, 显著性相关( $P < 0.05$ ); \*\*, 极显著性相关( $P < 0.01$ )

Note: x1, x2, x3 and x4 represent the density of heterotrophic bacteria, vibrio, rotifer and copepod, respectively. \* · significant at the 0.05 level; \*\* · very significant at the 0.01 level

较为理想,但饲料系数稍偏高,成活率略偏低,这主要有以下方面的原因:1)虾苗放养密度较大,放苗初期池中桡足类的数量少,虾苗缺少适口的饵料动物;2)临近收获的养殖后期,每口池塘的水质相对较差,池底中央几乎每天都有轻微的“耗底”现象。

### 3 讨论

#### 3.1 虾池主要理化因子的变化特点及其影响因素

精养虾池理化因子的变动是由人工调控(机械增氧、人工投喂饲料、换水和水质改良剂的使用等)和生物(对虾、浮游生物和微生物)一系列生理生化活动共同作用引起的。养殖期间随着对虾的生长和投喂饲料量的增加,对虾代谢物不断增多,水体悬浮有机物的含量持续上升,有机物分解和生物呼吸的耗氧量已远超出藻类光合作用的产氧量,从而导致养殖中后期水体的 pH 和  $\rho(\text{DO})$  持续降低、 $\rho(\text{COD})$  和  $\rho(\text{TSS})$  逐渐升高。养殖前期  $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 、 $\rho(\text{NO}_2^- - \text{N})$  和  $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$  维持在较低水平,中后期迅速积累而升高, $\rho(\text{NO}_2^- - \text{N})$  和  $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$  最高分别达  $0.1552 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.9231 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,但对虾的生长和摄食尚属正常<sup>[10]</sup>。 $\rho(\text{PO}_4^{3-} - \text{P})$  在整个养殖生产期间一直维持在较低水平,有时甚至低于检测下限。结果表明,在精养虾池水中有效氮(N)和磷(P)含量表现出严重的比例失衡,活性P含量过低可能成为藻类生长繁殖的主要限制营养因子。

藻类光合作用的供氧是天然水体中 DO 的主要来源,但在精养虾池的养殖中后期,有机物分解和生物呼吸的耗氧量已远超出藻类光合作用的产氧量,机械增氧将是虾池水体中 DO 的主要来源,加强机械增氧作用和降低水中有机物含量是维持池水高溶氧水平的重要措施。

#### 3.2 Chl-a 的变化特点及其与主要理化因子的关系

精养虾池 Chl-a 的变化特点表现为养殖前期低,中后期逐渐升高。有研究表明,围隔试验水体及天然水体中优势藻种稳定单一时  $\rho(\text{Chl-a})$  与藻密度一般呈显著正相关,而藻种发生明显更替时  $\rho(\text{Chl-a})$  与藻密度可能相关或不相关<sup>[11]</sup>。利用 Chl-a 评价水质时需要结合养殖水体的藻相变动来分析,但对虾养殖周期短,藻类种类组成的季节性变化较小, $\rho(\text{Chl-a})$  的变动仍能在一定程度上反映出浮游藻类的数量变化情况。浮游藻类与水质因子之间相互影响、相互制约,该研究表明, $\rho(\text{Chl-a})$  与

pH、 $\rho(\text{DO})$  呈显著负相关,原因是水中悬浮有机物的含量高,有机物分解和生物呼吸导致二氧化碳( $\text{CO}_2$ )的大量产生和 DO 的大量消耗,从而掩盖了藻类光合作用对 pH、DO 的影响作用; $\rho(\text{Chl-a})$  与三态 N 含量呈正相关,与  $\rho(\text{PO}_4^{3-} - \text{P})$  呈负相关,表明 N、P 是藻类生长繁殖的必需营养因子,N、P 比例的失衡可能成为限制藻类生长繁殖的主要原因。在以往的研究中, $\rho(\text{Chl-a})$  与水中主要理化因子呈正相关性或负相关性的结果都存在<sup>[12-14]</sup>,研究结果不尽一致。

#### 3.3 浮游动物的数量与主要理化因子的关系

关于虾池浮游动物数量变动的研究国内外已有学者做了相关报道<sup>[15-17]</sup>。孙修涛等<sup>[18]</sup>报道对虾放养早期主要以浮游动物为食,20 d 后以人工饵料为食,这一结果与笔者的试验结果相符。试验虾池的浮游动物数量在放苗后急剧下降,后期又大量繁殖,说明养殖早期浮游动物是虾苗适口性良好的天然饵料,但养殖中后期因对虾个体已长大,浮游动物的适口性差,其数量因摄食压力减小而增加;另外,养殖中后期水体中有机颗粒、浮游藻类和微生物数量增多,为浮游动物提供了丰富的食物,使其数量得以维持在较高的水平。相关性分析表明,桡足类的密度与异养细菌密度、弧菌密度、轮虫密度、 $\rho(\text{TSS})$  呈显著的正相关;与  $\rho(\text{Chl-a})$ 、 $\rho(\text{COD})$  均呈正相关;轮虫密度与异养细菌密度、弧菌密度、TSS、Chl-a、COD 等环境因子的水平呈正相关。说明凡纳滨对虾的精养池塘中细菌、悬浮有机物和单细胞藻类与轮虫和桡足类相互间的影响程度较大,浮游动物在对虾精养池塘环境调控中起重要的作用。该研究结果表明,轮虫和桡足类都是精养虾池中浮游动物的优势类群,虽然在计数时发现个别原生动物,但数量极少。

#### 3.4 异养细菌、弧菌的数量与主要理化因子的关系

异养细菌在生态系统的物质循环和能量流动中发挥着重要作用,其密度是评价养殖水质的重要指标。该研究结果显示,养殖前期异养细菌密度较低,随着对虾的生长和投喂饲料量的逐渐增加,水中异养细菌的密度亦随之增大。弧菌除少数种类外,大部分被认为是海水养殖的病原菌代表<sup>[19]</sup>,养殖生产经验普遍认为使对虾感染发病的弧菌密度阈值为  $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。因此,监测水体中的弧菌密度成为有效预防对虾细菌性疾病的重要手段。该试验结果显示,整个养殖过程中弧菌的密

度随着养殖时间的推移逐步上升, 但始终维持在  $3.10 \times 10^3 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$  以下, 对虾生长状况良好, 尚未发生细菌性疾病。对虾养殖生产过程中水体异养细菌的数量变动易受人为因素(如水体消毒、微生物制剂的使用和换水等)和其他环境因素(悬浮有机物、COD等)的影响。黄洪辉等<sup>[20]</sup>的研究表明, 对虾养成过程中施用有益微生物的试验组虾塘水体中总异养细菌和弧菌数量明显较未施用的对照组虾塘低, 但各虾塘水体中总异养细菌和弧菌数量的变化特征基本相同。

相关性分析显示, 异养细菌的密度与  $\rho(\text{COD})$  呈极显著的正相关, 与  $\rho(\text{TSS})$  呈显著的正相关, 与透明度呈显著的负相关; 弧菌密度与 pH、 $\rho(\text{DO})$  呈显著的负相关, 与  $\rho(\text{TSS})$  呈极显著的正相关, 与  $\rho(\text{COD})$  呈显著的正相关, 和李卓佳等<sup>[21]</sup>、申玉春等<sup>[22]</sup>的研究结果较为一致。对虾养殖期间异养细菌和弧菌的密度与  $\rho(\text{COD})$ 、透明度、pH、 $\rho(\text{TSS})$  都有较程度的相关性, 随着养殖时间的推延和投喂饲料量的增加, 对虾的代谢产物、残饵、死亡的动植物残体等悬浮有机物不断累积, 既为细菌的生长繁殖提供了良好的物质条件, 同时也导致养殖水体  $\rho(\text{COD})$  的升高和透明度、pH 的下降。因此, 在对虾精养生产的中后期阶段, 有效降低水中有机物含量是改善对虾生活环境和确保对虾健康成长的关键技术措施。

#### 参考文献:

- [1] 崔和. 我国对虾产业市场分析、发展现状及前景[J]. 中国水产, 2011, 35(6): 68-71.  
CUI He. Shrimp market analysis, development status and prospect of China[J]. China Fish, 2011, 35(6): 68-71. (in Chinese)
- [2] 冯东岳, 钱冬. 2005~2009年凡纳滨对虾白斑综合征和桃拉综合征的流行情况分析[J]. 南方水产科学, 2011, 7(1): 78-83.  
FENG Dongyue, QIAN Dong. Prevalence study on *Penaeus vannamei* infected with WSD and TS during 2005~2009[J]. South China Fish Sci, 2011, 7(1): 78-83. (in Chinese)
- [3] 申玉春, 熊邦喜, 叶富良, 等. 凡纳滨对虾高位池养殖系统的水质理化状况[J]. 湛江海洋大学学报, 2006, 26(1): 16-21.  
SHEN Yuchun, XIONG Bangxi, YE Fuliang, et al. Physicochemical characteristics of water quality in higher-altitude *Litopenaeus vannamei* culture ponds[J]. J Zhanjiang Ocean Univ, 2006, 26(1): 16-21. (in Chinese)
- [4] 李奕雯, 李卓佳, 曹煜成, 等. 对虾海水高密度养殖后期水质因子的昼夜变化规律[J]. 南方水产, 2010, 6(6): 26-31.  
LI Yiwen, LI Zhuojia, CAO Yucheng, et al. Diurnal variation of water quality factors in late period of intensive seawater shrimp culture[J]. South China Fish Sci, 2010, 6(6): 26-31. (in Chinese)
- [5] URFORD M. Phytoplankton dynamics in shrimp ponds[J]. Aquac Res, 1997, 28(5): 351-360.
- [6] 刘孝竹, 李卓佳, 曹煜成, 等. 低盐度养殖池塘常见浮游微藻的种类组成、数量及优势种群变动[J]. 南方水产, 2009, 5(1): 11-16.  
LIU Xiaozhu, LI Zhuojia, CAO Yucheng, et al. Common species composition, quantity variation and dominant species of planktonic microalgae in low salinity culture ponds[J]. South China Fish Sci, 2009, 5(1): 11-16. (in Chinese)
- [7] 刘国才, 李德尚, 董双林, 等. 对虾养殖围隔生态系细菌的生物量[J]. 台湾海峡, 2000, 19(1): 48-53.  
LIU Guocai, LI Deshang, DONG Shuanglin, et al. Bacterial biomass of shrimp cultural enclosure ecosystems[J]. J Oceanogr Taiwan Strait, 2000, 19(1): 48-53. (in Chinese)
- [8] 梁伟峰, 李卓佳, 陈素文, 等. 对虾养殖池塘微藻群落结构的调查与分析[J]. 南方水产, 2007, 3(5): 33-39.  
LIANG Weifeng, LI Zhuojia, CHEN Suwen, et al. Investigation and analysis on characteristics of microalgae community in prawn ponds[J]. South China Fish Sci, 2007, 3(5): 33-39. (in Chinese)
- [9] 彭聪聪, 李卓佳, 曹煜成, 等. 虾池浮游微藻与养殖水环境调控的研究概况[J]. 南方水产, 2010, 6(5): 74-80.  
PENG Congcong, LI Zhuojia, CAO Yucheng, et al. A review of water environment regulation by planktonic microalgae in shrimp ponds[J]. South China Fish Sci, 2010, 6(5): 74-80. (in Chinese)
- [10] 孙国铭, 汤建华, 仲霞铭. 氨氮和亚硝酸氮对南美白对虾的毒性研究[J]. 水产养殖, 2002, 8(1): 22-24.  
SUN Guoming, TANG Jianhua, ZHONG Xiaming. Toxicity research of ammonia nitrogen and nitrite nitrogen to *Penaeus vannamei*[J]. J Aquac, 2002, 8(1): 22-24. (in Chinese)
- [11] 杜胜蓝, 黄岁樑, 臧常娟, 等. 浮游植物现存量表征指标间相关性研究 II: 叶绿素 a 与藻密度[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(2): 44-49.  
DU Shenglan, HUANG Suiliang, ZANG Changjuan, et al. Correlation research between the indicators of phytoplankton standing stock II: chlorophyll a and algal density[J]. J Water Resour & Water Engin, 2011, 22(2): 44-49. (in Chinese)
- [12] 张瑜斌, 章洁香, 詹晓燕, 等. 高位虾池主要理化因子的变化及水质评价[J]. 水产科学, 2009, 28(11): 628-634.  
ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, ZHAN Xiaoyan, et al. Changes in main physicochemical factors in water and assessment of water quality during culture in higher level shrimp ponds[J]. Fish Sci, 2009, 28(11): 628-634. (in Chinese)
- [13] 童万平, 韦蔓新, 何本茂, 等. 不同对虾养殖水体中无机磷与叶绿素 a 的关系研究[J]. 广西科学, 2005, 12(3): 227-229.  
TONG Wanping, WEI Manxin, HE Benmao, et al. Research on

- the relationship between DIP and chlorophyll-a in different model's water of shrimp culture[J]. *Guangxi Sci*, 2005, 12(3): 227 - 229. (in Chinese)
- [14] 江敏, 余根鼎, 戴习林, 等. 凡纳滨对虾养殖池塘叶绿素 a 与水质因子的多元回归分析[J]. *水产学报*, 2010, 34(11): 1712 - 1718.  
JIANG Min, YU Gending, DAI Xilin, et al. Multivariate statistical analysis of chlorophyll-a and water quality parameters in ponds of *Litopenaeus vannamei* culturing[J]. *J Fish China*, 2010, 34(11): 1712 - 1718. (in Chinese)
- [15] FRANCIS E, ROD M, NIGEL P. Zooplankton and epibenthic fauna in shrimp ponds: factors influencing assemblage dynamics [J]. *Aquac Res*, 2003, 34(5): 359 - 371.
- [16] NIGEL P, FRANCIS E. Shrimp pond zooplankton dynamics and the efficiency of sampling effort [J]. *Aquac Res*, 2003, 34(5): 373 - 381.
- [17] 姚泊, 何建国, 莫福, 等. 虾塘浮游动物种类的调查[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2000, 39(增刊): 224 - 228.  
YAO Bo, HE Jianguo, MO Fu, et al. Investigation on species of zooplankton in the prawn pond[J]. *ACTA Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2000, 39 (Suppl): 224 - 228. (in Chinese)
- [18] 孙修涛, 麻次松, 李健. 中国对虾胃内主要基础饵料检出率及其与对虾生长的关系[J]. *海洋水产研究*, 1997, 18(1): 21 - 27.  
SUN Xiutao, MA Cisong, LI Jian. Prey selection and relation to the growth of *Penaeus chinensis* [J]. *Mar Fish Res*, 1997, 18(1): 21 - 27. (in Chinese)
- [19] 李秋芬, 曲克明, 陈碧鹃, 等. 老化虾池生态系中几类主要细菌的季节变化特征[J]. *海洋水产研究*, 2002, 23(2): 12 - 18.  
LI Qiufen, QU Keming, CHEN Bijuan, et al. Seasonal variations of some main bacterial groups in the ecosystem of old shrimp ponds [J]. *Mar Fish Res*, 2002, 23(2): 12 - 18. (in Chinese)
- [20] 黄洪辉, 林欣, 郭志勋, 等. 有益微生物的应用对海水对虾养殖池塘中细菌数量动态变化的影响[J]. *南方水产*, 2007, 3(3): 14 - 19.  
HUANG Honghui, LIN Xin, GUO Zhixun, et al. Effects of probiotics on the dynamic of bacteria in marine shrimp pond [J]. *South China Fish Sci*, 2007, 3(3): 14 - 19. (in Chinese)
- [21] 李卓佳, 李烁寒, 杨莺莺, 等. 凡纳滨对虾高位池养殖水体细菌变动及其与理化因子的关系[J]. *南方水产*, 2010, 6(4): 6 - 12.  
LI Zhuojia, LI Shuohan, YANG Yingying, et al. Bacteria variation in *Litopenaeus vannamei* high level ponds and its relation with physical-chemical factors [J]. *South China Fish Sci*, 2010, 6(4): 6 - 12. (in Chinese)
- [22] 申玉春, 熊邦喜, 叶富良, 等. 凡纳滨对虾高位池细菌数量变化及其与水环境因子的变化[J]. *海洋科学*, 2006, 30(7): 33 - 37.  
SHEN Yuchun, XIONG Bangxi, YE Fuliang, et al. Relationship of bacterial density to its environmental factors in higher-place ponds of *Litopenaeus vannamei* [J]. *Mar Sci*, 2006, 30(7): 33 - 37. (in Chinese)